
Техническое обследование строительных конструкций строящихся и действующих гидротехнических и энергетических сооружений с использованием методов и средств НК

Сотрудники
ОАО «ВНИИГ
им. Б. Е. Веденеева»,
Санкт-Петербург



**Оришук
Роман
Николаевич**

Технический
директор.



**Семёнов
Юрий
Дмитриевич**

Заведующий
отделом.



**Штенгель
Вячеслав
Гедалиевич**

Ведущий научный
сотрудник, к. т. н.

Вся система контроля состояния энергетических и гидротехнических сооружений, рассчитанных на длительную эксплуатацию, как и предусмотрено Правилами эксплуатации, должна быть многоуровневой и включать в себя:

- постоянно действующий плановый сезонный контроль, который обычно выполняется по упрощенной схеме 1–2 раза в год;
- контроль периодический — 1 раз в 3–5 лет с применением выборочного инструментального контроля;
- многофакторный анализ — 1 раз в 25 лет при нормальной эксплуатации, при реконструкции сооружений или после непроектных форс-мажорных воздействий.

В последнем случае используется комплекс методов и средств инструментального контроля; выполняется детальный анализ результатов всех ранее проведенных обследований и лабораторных исследований материалов; проводятся расчетные исследования основных гидротехнических сооружений (ГТС) и, при необходимости, их отдельных элементов с помощью математических моделей, построенных по результатам инженерных изысканий и натурных исследований, фактического распределения нагрузок и воздействий с учетом выявленных дефектов, изменений условий эксплуатации и технологического изменения конструктивных элементов.

К сожалению, на каждом уровне контроля существует большое количество объективных и субъектив-

ных факторов, снижающих достоверность контроля, и, соответственно, выводов о дальнейшей надежной эксплуатации конструктивных элементов и сооружений в целом, разработки технологии устранения дефектов и т. д. Отсутствует актуальная для текущего времени нормативная база, учитывающая современное состояние методов и средств контроля. Существующая практика обследования и оценки технического состояния сложилась в условиях, когда эксплуатировались еще относительно новые сооружения. Основной задачей были именно вопросы контроля, а не диагностирования, так как процессы старения конструкций проявлялись мало. За выявленными дефектами, в лучшем случае, организовывались наблюдения их возможного дальнейшего развития, а надежность эксплуатации ставилась под сомнение в исключительных случаях. Кроме того, в условиях эксплуатации сооружений во многих случаях отсутствуют или значительно ограничены возможности безопасного доступа к контролируемым конструкциям, позволяющие проводить необходимый комплекс обследований в производственных условиях. (К сожалению, такое отсутствие контролепригодности характерно для большинства опасных сооружений и заложено ещё при их проектировании).

Значительное число эксплуатируемых энергетических и гидротехнических сооружений нашей страны было построено в 50–70-е гг. прошлого века, срок их эксплуатации насчитывает уже более 50–60 лет (по данным Минэнерго 21 % ГЭС эксплуатируются более 50 лет, 80 % АЭС — 20–40 лет, 75,5 % ТЭС — более 30 лет). Это срок, после которого начинают в той или иной степени проявляться процессы старения, причем наиболее ин-



Инструментальный контроль металла напорного водовода Саяно-Шушенской ГЭС при помощи верхолазов



Проведение УЗК сварных швов на горизонтальном участке водовода Саяно-Шушенской ГЭС дефектоскопом А1212 МАСТЕР

тенсивно — в дефектных зонах. Как показывает опыт обследований последних лет, для ряда конструкций процессы старения достигли такого уровня, что уже требуется не только обследование, периодичность которого регламентируется нормативными документами, но и техническое диагностирование для принятия решений по дальнейшей эксплуатации конструкций. Статистические данные свидетельствуют о том, что за последние 10 лет количество техногенных аварий возросло в 10 раз, что, соответственно, характеризует, в том числе, низкий уровень диагностирования конструкций, оценки их надежности и корректности решений об их дальнейшей эксплуатации.

В последние годы ОАО «ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева» принимает активное участие в техническом обследовании ремонтируемых и реконструируемых ГЭС ОАО «РусГидро», в частности: Саяно-Шушенской ГЭС, Ирганайской ГЭС, Баксанской ГЭС, Каскада Кубанских ГЭС и Каскада Северо-Осетинских ГЭС.

За десятилетия эксплуатации на каждой из станций проявились особенности поведения сооружений в результате естественного старения с длительным внешним воздействием учтенных и не учтенных в проектах факторов. Соответственно, существуют различные причины появления дефектов конструкций и сооружений: Заложенные в проекте неудачные решения, нарушения технологии строительно-монтажных работ в процессе строительства, изменения проектных условий эксплуатации, воздействие форс-мажорных обстоятельств (аварии, пожары, террористические акты и др.) также способствуют появлению и развитию дефектов конструкций и сооружений.



Общий вид специальной передвижной площадки в напорном водоводе Саяно-Шушенской ГЭС



Оценка состояния бетона после аварии на Саяно-Шушенской ГЭС ультразвуковым методом

В инструментальных обследованиях элементов гидротехнических и энергетических сооружений, проводимых сотрудниками ВНИИГ, самым активным образом применяются практически все доступные для полевых условий методы НК с учетом возможностей и особенностей их применения в натуральных реальных условиях эксплуатации сооружений и конструкций, а также конструктивных особенностей самих элементов.

Для конструкций гидротехнических и энергетических сооружений характерны:

- крупногабаритность и большая протяжённость конструкций;
- сложность обеспечения безопасного доступа в условиях эксплуатации;
- приоритетность одностороннего доступа к контролируемым конструкциям (обеспечение двустороннего доступа конструкциям часто затруднено или невозможно);
- низкое качество состояния поверхности (значительная шероховатость, увлажнение, сосредоточение микродефектов, трещин и нарушений структуры поверхностных слоёв и др.);
- затруднение доступа к поверхностям несущих конструкций из-за наличия в большинстве случаев защитных покрытий и облицовок, налётов коррозионных слоёв или различных отложений;
- крупность структуры бетона;
- значительная толщина металлических элементов;
- присутствие значительных вибраций и т. д.

С другой стороны, для эксплуатирующих организаций приоритетным является безопасность и надёжность основного оборудования, обеспечивающего гарантированную выработку электрической энергии, что



Оценка монолитности системы «металлическая камера рабочего колеса-бетонный массив»



Тепловизионное обследование плит крепления грунтовых откосов канала

накладывает дополнительные требования на получение достоверной информации о техническом состоянии сооружений и, соответственно, на подбор методов и средств НК, разработку новых методик инструментального обследования.

Специалисты ВНИИГ применяют практически весь арсенал видов НК, пригодных для контроля материалов и конструкций в полевых условиях (табл. 1).

Табл. 1. Виды НК, используемые в полевых условиях

Инструментальный контроль грунтов	Инструментальный контроль бетона	Инструментальный контроль металла	Общее обследование конструкций								
Электротомография	<table border="1"> <tr><td>ММНК</td></tr> <tr><td>механические методы НК</td></tr> </table>	ММНК	механические методы НК	<table border="1"> <tr><td>ВИК</td></tr> <tr><td>визуально-измерительный контроль</td></tr> </table>	ВИК	визуально-измерительный контроль	<table border="1"> <tr><td>ТК</td></tr> <tr><td>тепловой контроль</td></tr> </table>	ТК	тепловой контроль		
	ММНК										
механические методы НК											
ВИК											
визуально-измерительный контроль											
ТК											
тепловой контроль											
Сейсмотомография	<table border="1"> <tr><td>ТК</td></tr> <tr><td>тепловой контроль</td></tr> </table>	ТК	тепловой контроль	<table border="1"> <tr><td>ВИК</td></tr> <tr><td>визуально-измерительный контроль</td></tr> </table>	ВИК	визуально-измерительный контроль	<table border="1"> <tr><td>ВИК</td></tr> <tr><td>визуально-измерительный контроль</td></tr> </table>	ВИК	визуально-измерительный контроль		
	ТК										
тепловой контроль											
ВИК											
визуально-измерительный контроль											
ВИК											
визуально-измерительный контроль											
Георадио-локация	<table border="1"> <tr><td>УЗК</td></tr> <tr><td>дефектоскопия</td></tr> <tr><td>толщинометрия</td></tr> <tr><td>оценка прочности</td></tr> </table>	УЗК	дефектоскопия	толщинометрия	оценка прочности	<table border="1"> <tr><td>УЗК</td></tr> <tr><td>дефектоскопия</td></tr> <tr><td>толщинометрия</td></tr> </table>	УЗК	дефектоскопия	толщинометрия	<table border="1"> <tr><td>Фото- и видеоаппаратура</td></tr> </table>	Фото- и видеоаппаратура
	УЗК										
дефектоскопия											
толщинометрия											
оценка прочности											
УЗК											
дефектоскопия											
толщинометрия											
Фото- и видеоаппаратура											
Георадио-локация	<table border="1"> <tr><td>магнитный контроль</td></tr> <tr><td>измерители защитного слоя бетона, расположения и диаметра арматуры</td></tr> </table>	магнитный контроль	измерители защитного слоя бетона, расположения и диаметра арматуры	<table border="1"> <tr><td>магнитный контроль</td></tr> <tr><td>метод магнитной памяти металла</td></tr> <tr><td>метод коэрцитивной силы</td></tr> </table>	магнитный контроль	метод магнитной памяти металла	метод коэрцитивной силы	<table border="1"> <tr><td>вибродиагностический контроль</td></tr> </table>	вибродиагностический контроль		
	магнитный контроль										
измерители защитного слоя бетона, расположения и диаметра арматуры											
магнитный контроль											
метод магнитной памяти металла											
метод коэрцитивной силы											
вибродиагностический контроль											
	<table border="1"> <tr><td>георадио-локация</td></tr> </table>	георадио-локация		<table border="1"> <tr><td>оптический контроль</td></tr> <tr><td>эндоскопы</td></tr> </table>	оптический контроль	эндоскопы					
георадио-локация											
оптический контроль											
эндоскопы											

Учитывая ответственность обследуемых сооружений, приоритетно использование комплексов независимых методов контроля, что позволяет получить максимально достоверную информацию о текущем состоянии материалов и конструкций. И даже в этом случае многие виды существующей измерительной аппаратуры и методик требуется адаптировать к особенностям конструкций и условиям диагностирования.

Корректное использование методов и средств НК и анализ полученных результатов специалистами ОАО «ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева» базируется на большом опыте (более 50 лет) работы в широком диа-

пазоне зон расположения объектов: от Крайнего Севера до жаркого юга, включая зарубежные объекты (Саяно-Шушенская ГЭС, Баксанская ГЭС, Ирганайская ГЭС, Экибастузская ГРЭС-1, Чернобыльская АЭС, АЭС «Бушер» в Иране и др.). Большой объём исследований проводился при строительстве таких крупных объектов, как Комплекс сооружений для защиты Санкт-Петербурга от наводнений, Богучанская ГЭС, Зарамагская ГЭС, Ленинградская атомная станция, АЭС «Хурагуа» на Кубе и др.).

Имеющийся опыт позволяет отметить, что кроме подбора комплекса средств технического обследования и разработки методик контроля конструктивных элементов зачастую важна адаптация существующей измерительной аппаратуры, направленная на учет особенностей конструкций, условий их эксплуатации и диагностирования.

В этой связи, например, можно напомнить, что первые приборы УЗК бетона, разработанные в начале 1950-х гг., были в первую очередь рассчитаны на обследование массивных конструкции гидротехнических сооружений. Аппаратура позволяла контролировать элементы до 6–8 м толщиной, и только в дальнейшем она трансформировалась в массовые маломощные приборы для заводов железобетонных изделий и стройплощадок с целью выходного контроля качества продукции.

В инструкциях по эксплуатации существующей контрольной аппаратуры часто не акцентируются допустимые параметры применения, что приводит к их неправоначальному использованию в реальных производственных условиях без учёта температуры, влажности, возможность надежного контакта первичных преобразователей с поверхностью конструкций, фоновой вибрации конструкций и др.



Коэрцитометрические измерения на обечайке камеры рабочего колеса с помощью структуроскопа КРМ-Ц-К2М



Поиск арматуры в стене с помощью георадара-Бетоноскопа СК-1700

Выпуск значительного числа простых приборов, дающих зачастую только общее представление о состоянии поверхностных слоев бетона конструкций, привел к определенному снижению качества и достоверности получения результатов при обследовании. Но эта аппаратура относительно дешева и может быть широко использована на многих этапах строительства сооружений, контроля проведения ремонтных работ, при плановом сезонном контроле и др.

Средства, предназначенные для обследования ответственных и опасных сооружений, не выпускаются большими сериями, стоят дорого и требуют специальной подготовки для работы с ними, а также специального камерального анализа полученной при обследовании информации, подготовленных специалистов-исследователей высокой квалификации. В качестве примеров такой аппаратуры можно привести:

- ультразвуковые приборы ООО «Акустические Контрольные Системы», Москва: низкочастотный дефектоскоп А1220 «Монолит», ультразвуковой томограф А1040М «Полигон»;
- георадары ОКО-2 и бетоноскоп СК-1700 компании «Логис-Геотех», Москва;
- тепловизоры типа FlukeTir32 корпорации Fluke;
- приборы ОНИКС-ОС (НПП «Интерприбор», Челябинск) для определения прочности бетона механическим методом отрыва со скалыванием;
- эндоскопы с высоким разрешением, например, видеоэндоскоп ADRO-V55100 компании Adronic Components GmbH;
- магнитный структуроскоп КРМ-Ц-К2М (НПФ «СНР», Харьков, Украина) и ИКН-4М-16 (ООО «Энергодиагностика», Москва) для определения напряженно-деформированного состояния металла и конструкций;
- толщиномер электромагнитоакустический УТ-04 ЭМЛ (Дельта) НПФ «СНР»;
- универсальный ультразвуковой дефектоскоп-рекордер ISONIC-2009 UPA-Scor (фирма Sonotron NDT, Израиль) и др.

Многие существующие документы грешат серьезными недоработками и требуют пересмотра. Поэтому необходимо обратить особое внимание на подготовку нормативной базы. Речь идет не о переписывании старых документов, а о разработке новых с учетом современных взглядов и новой методической и аппаратурной базы диагностирования, которые должны пройти серьезное рецензирование специализированных организаций.

При определении сроков и стоимости проведения детального инструментального обследования обязательно следует учитывать значительную трудоемкость мероприятий по подготовке и наладке оборудования, обеспечения доступа, подготовке поверхности конструкций к испытаниям (очистки от защитных покрытий, от продуктов коррозии, биологических отложений, производственной пыли и т. д.). Необходимо отметить особые условия натурального инструментального обследования эксплуатируемых ГТС с привлечением верхолазов, разработки и изготовления спецоборудования, позволяющего осуществить безопасный доступ к контролируемым конструкциям.

Иногда встречаются случаи директивных требований к проведению обследования в несезонное время, не позволяющее получить достоверную информацию.

Многофакторное техническое обследование сооружений высветило ряд общих и индивидуальных особенностей, которые, по нашему мнению, необходимо в той или иной степени отразить в новом отраслевом нормативном документе, имеющем целенаправленный характер, что поможет повысить достоверность полученных результатов:

1. Необходима разработка Программы работ с конкретизацией задач в плане получения определённой информации с учётом особенностей обследуемых сооружений при регламентированной организации проведения обследований, включающей вспомогательные мероприятия:

- установку сроков проведения натуральных исследований с учетом проведения комплекса вспомогательных работ по обеспечению безопасного доступа к контролируемым участкам в условиях эксплуатации объектов, (в том числе создание вспомогательного оборудования);
- классификацию сезонности натуральных исследований (сроки проведения визуального и инструментального обследования с учетом возможности использования оборудования, параметры воздушной и водной сред и т. д.);
- остановка в случае необходимости работы оборудования и сооружений и сроки возможного безопасного доступа к подводным и водопропускным элементам ГТС специально для проведения многофакторных обследований. При проведении многофакторных обследований необходимо в максимально возможной степени обеспечивать осушение участков бьефов, прилегающих к ГТС. Это связано с тем, что водолазы и существующая гидроакустическая аппаратура не могут в должной

степени обеспечить контроль бетона и дефектоскопию в соответствии с нормативами и достоверно оценить качество сопряжения сооружений с основанием.

2. Необходима тесная рабочая взаимосвязь с проектировщиками. Локальные различия в характеристиках материалов, особенно с учетом старых технологий возведения ГЭС, могут быть очень существенны как в пределах одного сооружения, так и в пределах отдельных массивных монолитных конструкций. Проектировщиков и расчетчиков, естественно, в первую очередь, интересуют фактические характеристики материалов в конкретных участках, подлежащих изменению, усилению и др. Выбор и согласование с Генпроектировщиком и Заказчиком определённых участков обследования часто влечёт за собой организацию вспомогательных работ, подбор специального оборудования, подбор методов и средств инструментального контроля и лабораторных исследований образцов материалов и др.

3. Необходимо обеспечение возможности оперативной коррекции сроков и объёмов работ для выполнения повторных исследований выявленных проблемных конструкций, в том числе с привлечением специализированных организаций.



Контроль прочности бетона с помощью склерометра стены Ирганайской ГЭС после пожара



Определение прочности бетона механическим методом отрыва со скалыванием с использованием прибора ОНИКС-ОС

4. Необходима разработка прејскурантов, отражающих стоимости этапов многофакторных технических обследований в натуральных условиях эксплуатирующихся сооружений с комплексом дополнительных вспомогательных мероприятий по обеспечению безопасного доступа к контролируемым участкам, подготовки поверхности контролируемых конструкций, отбора образцов материалов с последующей ликвидацией локальных повреждений конструкций. Привлечения водолазов и верхолазов для проведения необходимых специальных инструментальных исследований нестандартных сооружений практически невозможно оценить с помощью обычно применяемых прејскурантов. (В свое время специальным письмом было указано, что все эти прејскуранты носят не обязательный, а справочный характер). Применение новых методов и средств инструментального контроля в существующих прејскурантах вообще не отражено.

5. Необходимо восстановление архивов. Отсутствие проектных материалов, данных строительного или ремонтных периодов, а также изменений условий и требований по эксплуатации осложняет анализ изменения характеристик материалов и дефектов конструкций к моменту исследований и оценку значимости выявленных дефектов и несоответствий проектным решениям.

6. Необходима разработка новой и совершенствование имеющейся аппаратуры комплекса НК металла и бетона с учётом специфики натурального обследования, конструктивных особенностей элементов гидротехнических и энергетических сооружений и условий доступа к контролируемым участкам.

Проблемы предотвращения техногенных аварий на длительно эксплуатирующихся сооружениях с вялотекущими процессами старения материалов и конструкций характерны во всем мире. Однако у нас они усугубляются климатическими особенностями, человеческим фактором, директивными указаниями, часто довлеющими над требованиями нормативных документов.

Учитывая всё возрастающую необходимость в проведении реконструкции и технического перевооружения, в первую очередь связанную с вопросами оценки остаточного ресурса оборудования и строительных конструкций, необходимо обеспечить качественную диагностику с всесторонней оценкой состояния производственного оборудования, чтобы

обеспечить эксплуатирующую и проектирующую организации достоверной информацией.

Ясно, что в пределах одной организации разработка и реализация методов и средств диагностики не может быть решена. Вопросы развития методов и средств диагностики могут быть решены только совместными усилиями, в том числе, и со стороны государства.

Литература

1. СТО 17230282.27.010.001–2007. Здания и сооружения объектов энергетики. Методы оценки технического состояния. — М.: ОАО РАО «ЕЭС России», 2007.
2. СО 34.21.343–2005. Правила оценки физико-механических характеристик бетона эксплуатируемых гидротехнических сооружений». — М.: ОАО РАО «ЕЭС России», 2006.
3. СТО 75782411.27.140.056–2010. Подводно-техническое обследование состояния гидротехнических сооружений и примыкающих к ним участков неукрепленного русла. — М.: ОАО «РусГидро», 2010.
4. СТО 17330282.27.140.002–2008. Гидротехнические сооружения ГЭС и ГАЭС. Условия создания. Нормы и требования. — М.: ОАО РАО «ЕЭС России», 2008.
5. СТО 17330282.27.140.016–2008. Здания ГЭС и ГАЭС. Организация эксплуатации и технического обслуживания. Нормы и требования. — М.: ОАО РАО «ЕЭС России», 2008.
6. ГОСТ Р 53778–2010. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния». — М.: Росстандарт, 2010.
7. СП 13-102–2003. Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений». — М.: Госстрой России, 2004.
8. Рекомендации по оценке надежности строительных конструкций зданий и сооружений по внешним признакам. — М.: ЦНИИпромзданий, 2001.